DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER DERGİSİ
DUMLUPINAR UNIVERSITY JOURNAL OF SOCIAL SCIENCES
E-ISSN: 2587-005X https://dergipark.org.tr/tr/pub/dpusbe
Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 85, 279-300; 2025
DOI: 10.51290/dpusbe.1688408

Araştırma Makalesi / Research Article

YALIN İSRAFLAR VE YALIN UYGULAMALARIN BELİRLENMESİ İÇİN BİRLEŞTİRİLMİŞ BİR BULANIK-QFD-BDANP YAKLAŞIMI

Esra YILDIRIM SÖYLEMEZ[1]

Öz
Yalın üretim, tüm dünyada tanınan uygulamalar aracılığıyla israfları ortadan kaldırarak işletmenin veya üretim sürecinin performansını iyileştirmeyi hedefleyen bir yönetim felsefesidir. Bu çalışma, üretim sürecinde karşılaşılan öncelikli israf türlerinin ve bu israfların ortadan kaldırılması için uygun yalın uygulamaların belirlenmesini amaçlamaktadır. İsraf türlerinin ve yalın uygulamaların gerek kendi aralarında gerek birbirleriyle olan ilişkilerini dikkate alan bir hibrit modelin sunulduğu çalışmada; Kalite Fonksiyon Göçerimi (QFD), bulanık sayılar, DEMATEL ve Analitik Ağ Süreci (ANP) yöntemleri entegre edilmiştir. Yalın üretim konusunda danışmanlık hizmeti veren uzmanların görüşlerinin veri olarak kullanıldığı analiz sonuçlarına göre fazla stok bulundurmak en öncelikli israf türüyken; israfların ortadan kaldırılmasında; çalışan katılımı, kanban ve hücresel imalat önemli yalın uygulamalardır arasında yer almaktadır. Literatürde yenice yer bulan kullanılmayan yetenek israf türünün de dikkate alınmasıyla literatüre katkı sağlanırken; belirsizliğin ve bağımlılıkların hesaba katılması açısından sunulan hibrit yaklaşım; çalışmanın ilgili alandaki önemini artırmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Yalın israf, Yalın uygulamalar, QFD, Bulanık sayılar, DEMATEL, ANP.
Jel Kodları: M11, C44

A COMBINED FUZZY-QFD-BDANP APPROACH FOR IDENTIFYING LEAN WASTES AND LEAN PRACTICES

Abstract
Lean manufacturing is a management philosophy that aims to improve the performance of a business or production process by eliminating waste through globally recognized practices. This study aims to determine the priority types of waste encountered in the production process and the appropriate lean practices for eliminating these wastes. The study, which presents a hybrid model that takes into account the relationships between waste types and lean applications both among themselves and with each other, has integrated Quality Function Deployment (QFD), fuzzy numbers, DEMATEL, and Analytical Network Process (ANP) methods. According to the analysis results, which used the opinions of experts providing consultancy services on lean production as data, overstock is the most important type of waste; employee participation, kanban, and cellular manufacturing are critical lean practices in eliminating waste. While the study contributes to the literature by considering the type of waste of unused talent that has recently been identified, the hybrid approach that considers uncertainty and dependencies increases the study's importance in the relevant field.
Keywords: Lean waste, Lean practices, QFD, Fuzzy numbers, DEMATEL, ANP.
Jel Codes: M11, C44

[1] Dr. Öğr. Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi esra.yildirim@dpu.edu.tr , ORCID: 0000-0003-4690-9298
Başvuru Tarihi (Received): 01.05.2025 **Kabul Tarihi** (Accepted): 17.07.2025

Giriş

Belirsizlik ve karmaşanın hâkim olduğu piyasa koşullarında günümüz işletmeleri yoğun bir ulusal ve küresel rekabet baskısı ile karşı karşıyadır. Her ne kadar çevresel duyarlılık, kurumsal sosyal sorumluluk gibi daha yeni sayılabilecek gereklilikler ve beklentiler karşılanmaya çalışılsa da hızla gelişen teknolojiyi yakalayarak maliyet ve kalite avantajının sağlanması, işletmeler açısından önemini korumaktadır. Dolayısıyla rekabet edebilme becerisi; sürekli değişen ve çeşitlenen müşteri taleplerinin yüksek kalite ve düşük maliyetle kısa sürede sağlanması, çevre üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılması ve mevcut kaynakların maksimum verimlilikle kullanılmasına ilişkin iyileştirme çabalarını, işletmelerde zorunlu kılmaktadır. Nitekim yalın üretim paradigması, düşük maliyetli ve optimize edilmiş üretim süreçlerinde müşteri odaklılığıyla yaratılan değeri artırmak için son otuz yılda işletmelerde bir gereklilik haline gelmiştir (Minh vd., 2019).

Yalın üretim, giderek küreselleşen pazarda rekabetçi kalma çabasıyla dünyadaki birçok büyük işletme tarafından benimsenen Toyota üretim sisteminden gelmektedir (Thürer vd., 2017). İsrafı en aza indirerek daha fazla değer yaratma, maliyeti düşürme ve eş zamanlı olarak verimliliği üst düzeye çıkarma ideolojisine dayanan yalın üretim, bir felsefe ve bir strateji olarak tanımlanmaktadır (Womack ve Jones, 2003, s.146; Minh vd., 2019, s. 37). Dolayısıyla yalınlığın özünde israf yer almakta (Vinodh ve Kumar Chintha, 2011) ve değer yaratılmasına doğrudan katkıda bulunmayan her şey israf olarak tanımlanmaktadır (Novirani vd., 2024, s. 2). Gereksiz eylemleri içeren israf türleri; aşırı işleme, aşırı üretim, fazla stok, gecikme-bekleme, gereksiz hareket, taşıma, kusurlar şeklinde sıralanmakta; bunların ortadan kaldırılması hedeflenmektedir (Rawabdeh, 2005; Rahmanasari vd., 2021). Zira israflar zaman, kaynak veya alan tüketimine neden olurken (Novirani vd., 2024); değer iyileştirme, kaynak tüketimi, kalite, maliyet, çevresel etki, iş sağlığı ve güvenliği vb. üzerinde doğrudan olumsuz etkiler yaratmaktadır (Verrier vd., 2016). Bu nedenle işletmeler israfların azaltılmasını önemli ve öncelikli hedefler arasında tutarken; en iyi uygulamalar yoluyla bu hedefe yönelik hiç bitmeyen bir taahhüt olduğu belirtilen (Bergmiller ve McCright, 2009) yalın paradigmayı giderek daha fazla benimsemekte ve önermektedir (Vinodh ve Kumar Chintha, 2011; Verrier vd., 2016).

Literatürde yalın üretim kapsamında tanımlanmış 5S, tam zamanında üretim (JIT), kanban, değer akış haritalama (VSM) gibi yaklaşık yüz yalın uygulama bulunmaktadır (Pavnaskar vd., 2003; Leksic vd., 2020, Bhasin ve Burcher, 2006). Bu uygulamaların, üretim sürecinde oluşan israfları ortadan kaldırma hedefini destekleyerek (Rewers vd., 2016); kalite, maliyet, verimlilik gibi işletme performansında önemli oranda iyileştirmeler sağlayabildiği pek çok çalışmada doğrulamaktadır (Vinodh ve Kumar Chintha, 2011; Belekoukias vd., 2014, Choudhary vd., 2019). İsrafların azaltılmasına ilişkin çalışmalar farklı sektörlerde yapılmış ve farklı yaklaşımlar izlemişlerdir. Nitekim bu çalışma, üretim sürecinde en sık karşılaşılan israfları ve bu israfların ortadan kaldırılmasında etkili yalın uygulamaların belirlenmesini amaçlamaktadır. İsraf türleri ve yalın uygulamaların hem kendi aralarında hem de birbirleri arasındaki ilişkilerin dikkate alındığı bir değerlendirme modeli sunan bu çalışma; Kalite fonksiyon göçerimi (Quality Function Deployment-QFD) yöntemi ile bulanık sayılar, DEMATEL ve Analitik ağ süreci (Analitic Network Process-ANP) yöntemlerini entegre etmektedir. Zira yalın yaklaşımın performans boyutlarından biri olan kalitenin tanımında yer alan müşteri memnuniyetinin teknik gereksinimlere dönüştürülmesi amacı taşıyan tek yöntemin QFD olduğu; fakat yöntemdeki dilsel yargıların belirsizliğinin de hesaba katılması gerektiği belirtilmektedir (Vinodh ve Kumar Chintha, 2011). Ayrıca QFD'nin sınırlılıklarının aşılmasında çok kriterli karar verme yöntemleri ile desteklenmesine ilişkin öneriler (Wolniak, 2018, s. 16) de bu çalışmanın metodolojik açıdan motivasyon kaynağı olmuştur.

Çalışmanın devam eden kısmında literatür taramasına yer verilmiştir. Metodoloji bölümünde geliştirilen hibrit model ve bu modelde entegre edilen yöntemler, adımları ile birlikte ayrıntılı

olarak anlatılmıştır. Üçüncü bölümde araştırma bulgularından bahsedilmiş; sonrasında sonuç ve tartışma sunulmuştur.

1. Literatür Taraması

Japonca'da muda kelimesi ile ifade edilen (Rawabdeh, 2005); zaman, kaynak veya alan tüketimine neden olan (Novirani vd., 2024) israf türleri yedi sınıfta toplanmaktadır. Bunlar; aşırı işleme, aşırı üretim, fazla stok, gecikme-beklemeler, gereksiz hareketler, gereksiz taşımalar ve kusurlardır (Rahmanasari vd., 2021; Choudhary vd., 2019; Çetindere Filiz vd., 2018). Son yıllarda çalışanların ve insan davranışının operasyonlar ve işletme performansındaki öneminin farkındalığının artması ile "kullanılmayan yetenek", yalın yaklaşıma sekizinci israf olarak eklenmiştir (Verrier vd., 2016; Caldera vd., 2019). İsraf türleri ve tanımları Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1: *Yalın İsraf Türleri ve Tanımları*

İsraf türleri	Tanımları
Aşırı işleme	Parçaların işlenmesinde gereksiz adımların takip edilmesi, müşteri talebini aşan kalitede ürünlerin üretilmesi
Aşırı üretim	Müşteri talebine göre daha fazla ve/veya istenilen zamandan önce üretim yapılması
Fazla stok	İşlem ve/veya taşınmayı bekleyen, stokta tutulan malzeme, yarı mamul veya ürünler vb.
Gecikme-Bekleme	Faaliyetlerdeki gecikmeler ve çalışanların süreçte bilgi, makine, malzeme vb. beklemesi
Gereksiz hareketler	Çalışanların, ekipmanların ürün üzerinde değer yaratmayan gereksiz hareketleri
Taşımalar	Malzeme/ürünlerin uzun mesafelere taşınması, gereksiz yere ve tekrarlı olarak hareket ettirilmesi
Kusurlar	Hatalı, tekrar işleme gerektiren ve maliyete yol açan ürünlerin üretilmesi, kalite kaybı
Kullanılmayan yetenek	İyileştirme potansiyeline sahip fakat kullanılmayan işgücü yeteneği

Kaynak: (Choudhary vd., 2019, s. 355; Verrier vd., 2016, s. 153; Thürer vd., 2017, s. 246)

Literatürde yalın israf türleri arasında doğrudan ve dolaylı karmaşık ilişkiler olduğu kabul edilirken (Rawabdeh, 2005), bu ilişkilerden dolayı israfların birbirlerini tetiklediği (Anggraini vd., 2022, s. 3) savunulmaktadır. Rawabdeh (2005, s. 805)'e göre aralarındaki ilişkilerin türü ve doğası, israf türlerinin eşit ağırlıkta ve önemde olmadığını da göstermektedir. Bu nedenle üretim sürecinin analizinde israf türleri arasındaki bağımlılıkların, etkilerin ve önemlerinin dikkate alınması gerektiği önemle belirtilmektedir (Gladysz vd., 2020, s. 148). İsraf türleri arasındaki ilişkileri inceleyen literatürdeki çalışmaların imalat (Novirani vd., 2024; Rawabdeh, 2005; Rahmanasari vd., 2021) ve inşaat (Anggraini vd., 2022; Elmalky vd., 2024) sektörlerinde yoğunlaştığı fakat literatürde yeni yeni yer bulan sekizinci israf türü "kullanılmayan yetenek"in de dikkate alındığı çalışmaların (Elmalky vd., 2024) henüz çok sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. İlgili israf türlerinin işletme maliyetlerini artırdığı, verimliliği ve üretkenliği sınırlandırdığı, kaliteyi de olumsuz yönde etkileyerek operasyonel performansı düşürdüğü hatta motivasyon kaybına neden olduğu ifade edilmektedir (Verrier vd., 2016). Nitekim yalın üretim yaklaşımının, israfların ve bunların üretim süreci ve sonrasındaki etkilerinin azaltılabileceği pek çok çalışmada kanıtlanmıştır (Leksic vd., 2020; Belekoukias vd., 2014; Choudhary vd., 2019).

Yalın paradigmanın atıkları azaltmak için güçlü ve en etkili yol olduğu savunulurken (Rahmanasari vd., 2021), Womack ve Jones (2003, s. 261)'a göre yalın üretim paradigması, üretim sürecindeki israfların (muda) ortadan kaldırılması için sistematik bir yöntem olarak görülmektedir. Literatürde israfın azaltılmasına ilişkin yalın paradigmanın stratejik düzeyde benimsediği temel yaklaşımlar; vizyon ve strateji, inovasyon, ortaklık ilişkisi, operasyonlar ve destek hizmetler şeklinde sıralanmaktadır (Bergmiller ve Mccright, 2009). Fakat Leksic vd. (2020, s. 82) stratejik düzeyde felsefe olarak tanımlanan yalın üretim paradigmasının, operasyonel düzeyde; israfın ortadan kaldırılması için yöntemler ve uygulamalarla dolu bir araç kutusu olduğunu belirtmektedir. Nitekim tam zamanında üretim (JIT), toplam önleyici bakım (TPM) gibi yaklaşık yüz yalın araç (Pavnaskar vd., 2003; Leksic vd., 2020, Bhasin ve Burcher, 2006) bulunmasına rağmen özellikle

israfların azaltılmasında veya ortadan kaldırılmasında tanımlı yalın araçlar konusunda literatürde bir görüş birliği bulunmamaktadır.

Womack ve Jones (2003), projelerde israfların azaltılması için her düzeydeki faaliyette JIT, Kanban (pull production), Toplam kalite yönetimi (TKY), Kalite güvence sistemi, TPM ve uygun denetimler gibi uygulamaların gerekliliğini belirtmişlerdir. Pavnaskar vd. (2003), üretim atığı (muda) sorunları ile yalın uygulamaları ilişkilendirecek bir sınıflama yapma amacı taşıyan çalışmalarında; atıkların tanımlanması, ölçülmesi ve ortadan kaldırılması için hücresel imalat, tesis yerleşim grafikleri, yük dengeleme, altı sigma, değer akış haritalama (VSM) uygulamalarını önermişlerdir. Duque ve Cadavid (2007), yalın uygulamaların çeşitli performans ölçütleri üzerindeki etkilerini belirlemişler; yalın atıkların azaltılmasında üretim düzgünleştirme, Kanban, SMED, TPM, standartlaştırma, hücresel imalat, 5S, görsel kontrol uygulamalarının yararlı etkileri olduğunu belirtmişlerdir. Leksic vd. (2020), çalışmalarında çeşitli yalın atık türlerinin azaltılması için istatistiksel olarak anlamlı yalın uygulamaların belirlenmesini amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda istatistiksel olarak anlamlı yalın uygulamalar; birkaç yalın atık türünü azaltan yalın uygulamalar (TPM, poka-yoke, kaizen, 5S ve kanban) ve yalnızca tek yalın atık türünü azaltan yalın uygulamalar (altı sigma, poka-yoke, heijunka, takt time, andon, OEE, SMED ve KPI) şeklinde iki gruba ayrılmıştır. Farklı çalışmalarda kalite çemberleri ve çalışan katılımının da israf türlerinin azaltan edilen uygulamalar arasında yer almaktadır (Caldera vd., 2019; Maxwell vd., 1998). İsraf türleri özelinde literatürde uygulanması önerilen yalın uygulamalar ve referansları Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2: *İsraf Türlerinin Azaltılmasına İlişkin Yalın Uygulamalar*

İsraf türleri	Yalın uygulamalar	Referanslar
Aşırı işleme	5S, Poka-yoke, TPM, Kanban, TKY, Standartlaştırılmış iş	Leksic vd., 2020; Shams Bidhendi vd., 2018
Aşırı üretim	VSM, Kanban, SMED, TPM, JIT, Kaizen, TKY, Heijunka, Standartlaştırılmış iş	Leksic vd., 2020; Dara vd., 2024
Fazla stok	Kanban, TPM, Takt time, JIT, Kaizen, TKY, Hücresel imalat, Altı Sigma, VSM, Heijunka, SMED, Çalışan katılımı	Maxwell vd., 1998; Leksic vd., 2020; Dara vd., 2024; Ramesh ve Ravi, 2017; Duque ve Cadavid, 2007; Pavnaskar vd., 2003; Shams Bidhendi vd., 2018
Gecikme-Bekleme	5S, TPM, Takt time, Andon, JIT, Kaizen, TKY, SMED	Leksic vd., 2020; Dara vd., 2024; Duque ve Cadavid, 2007
Gereksiz hareketler	5S, Standartlaştırılmış iş, SMED, Kaizen, Heijunka, JIT, TKY, VSM	Leksic vd., 2020; Dara vd., 2024; Shams Bidhendi vd., 2018
Taşımalar	VSM, Poka-yoke, 5S, Kanban, Hücresel imalat, Standatlaştırılmış iş	Leksic vd., 2020; Duque ve Cadavid, 2007; Pavnaskar vd., 2003; Shams Bidhendi vd., 2018
Kusurlar	Jidoka, Poka-yoke, Kaizen, TPM, TKY, Standartlaştırılmış iş, Hücresel imalat	Leksic vd., 2020; Ramos vd., 2020; Shams Bidhendi vd., 2018
Kullanılmayan yetenek	Çalışan katılımı, Kalite çemberleri, TPM, Kaizen	Maxwell vd., 1998; Leksic vd. (2020), Veseli vd., 2024

Kaynak: Caldera vd. (2019, s. 579) ile Rewers vd. (2016, s. 138) kaynaklarından faydalanıp genişletilerek yazar tarafından oluşturulmuştur.

Yalın israf türleri ve bu israf türlerinin azaltılmasında öncelikli uygulamaların belirlenmesine ilişkin literatür, metodolojik açıdan da incelenmiştir. Yalın israf türlerinin azaltılmasında etkili yalın uygulamaların belirlenmesinde çoklu lineer regresyon yöntemi (Leksic vd., 2020), en küçük kareler yöntemi ve yapısal eşitlik modellemesi (Dara vd., 2024), atık ilişki matrisi ve Hata türü ve etkileri analizi (HTEA) (Rahmanasari vd., 2021) gibi yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar literatürde yer bulmaktadır. Fakat bu çalışmaya konu olan QFD yöntemi özelindeki literatür bu kısımda dikkate alınmıştır. Rawabdeh (2011) üretim israfları, israfların nedenleri ve yalın araçlar olmak üzere üç süreç için ayrı ayrı kalite evi oluşturarak israfları ortadan kaldıracak bir QFD modeli sunmuştur. Dubey vd. (2017) en yaygın üretim israf türlerini belirlenmeye çalışırken bu israfların azaltılmasına ilişkin teknik gereksinimleri QFD ile tespit etmişlerdir. Bhuvanesh Kumar ve Parameshwaran (2018) ile Reda ve Dvivedi (2022)'nin çalışmalarında üretim ortamında

karşılaşılan israflar ve israflarla ilişkili kritik kaynakların (insan, ekipman, malzeme, çizelge) önceliklendirilmesinde bulanık QFD ve HTEA yöntemleri ile hibrit bir model sunmuşlardır. Devnath vd. (2020), üç farklı üretim ortamındaki israf belirtilerini yalın yaklaşımdaki yedi israf türü olarak tanımlayarak bunları ortadan kaldırmak için uygun ve öncelikli yalın araçların belirlenmesinde QFD ile TOPSIS yöntemini entegre etmişlerdir.

1.1. Araştırma Boşlukları

Literatürde yalın israf türleri ve bu israf türlerinin ortadan kaldırılmasına yönelik yalın uygulamaları, QFD ile inceleyen çalışmalara rastlanmaktadır. Ancak bu çalışmaların yalın üretimin yedi israf türü ile sınırlı kaldığı görülmektedir. Reda ve Dvivedi (2022) işgücü verimliliğini bu israf türlerine dahil etse de yalın üretimde sekizinci israf türü olarak kabul edilen (Verrier vd., 2016; Caldera vd., 2019; Thürer vd., 2003) "kullanılmayan yetenek"'in dahil edildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmalarda yer edinmeye başlayan sekizinci israf türünün de sürece dahil edilmesinin literatür açısından önem taşıyacağı düşünülmektedir.

Yalın uygulamaların kendi arasında ve yalın uygulamalar ile israf türleri arasındaki bağlantılar QFD yönteminin rutin adımları arasında yer aldığından literatürdeki çalışmalarda incelenmiştir. Fakat çalışmalarda israf türleri arasındaki ilişkiler göz ardı edilmiştir. Zira Gladysz vd. (2020, s. 148) üretim sürecinin analizinde israf türleri arasındaki bağımlılıkların veya ilişkilerin dikkate alınması gerektiğini önemle vurgulamaktadır. Nitekim bu çalışmada, hem israf türlerinin hem de yalın uygulamaların gerek kendi içinde gerek birbirleriyle ilişkilerini dikkate alarak analiz edilmesi ile literatürdeki boşluğun doldurulması amaçlanmaktadır.

İsrafları odak alan yalın üretim paradigmasının performans boyutlarından birinin kalite olduğunu belirten Vinodh ve Kumar Chintha (2011)'ya göre, kalitenin tanımında yer alan müşteri memnuniyetinin teknik gereksinimlere dönüştürülmesi amacı taşıyan tek yöntem QFD'dir ve fakat yöntemdeki dilsel yargıların belirsizliğinin de hesaba katılması gerekmektedir. Bu yönüyle önemi vurgulanan QFD'nin öznel nitelikte olan büyük miktarda veriyi analiz etme ihtiyacı ve ilgilenilen alana ilişkin fazlaca bilgi ve beceri gerektirmesi, esneklikten uzak olması gibi sınırlılıkları bulunmaktadır (Wolniak, 2018, s. 16). Bu sınırlamalara çözüm getirmek amacıyla QFD ile Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin bütünleştirilmesi literatürde kapsamlı bir şekilde önerilmiş ve incelenmiştir. Farklı araştırma alanları ve sektörlerde DEMATEL (Yazdani vd., 2020), AHS (Hsu vd., 2022), ANP (Lee ve Lin, 2011), MULTIMOORA (Chen vd., 2021) gibi ÇKKV yöntemleri ile QFD entegre edildiği hibrit yaklaşımlar sunulmuştur. Fakat israf türleri ve bu israf türlerinin azaltılmasında kullanılan yalın uygulamalara ilişkin literatürde çok sınırlı sayıda çalışmaya ulaşılabilmiştir. Devnath vd. (2020), üç farklı üretim ortamındaki yalın israf türlerini ortadan kaldırmak için uygun ve öncelikli yalın araçların belirlenmesinde QFD ile ÇKKV yöntemi olan TOPSIS yöntemini entegre etmişlerdir. Dolayısıyla bu çalışma literatürdeki bu boşluğu; QFD'ne bulanık sayılar ile DEMATEL ve DEMATEL tabanlı ANP (DANP) gibi ÇKKV yöntemlerini entegre ederek doldurmayı hedeflemektedir. Zira Lee ve Lin (2011), farklı araştırma alanlarında Bulanık yaklaşımın ve ANP'nin QFD'ye dâhil edilmesinin ihtiyaca binaen yaygınlaştığını ifade etmektedir.

İlgili yöntemlerin entegresyonuyla alanda ilk olma açısından önem taşıyan bu çalışma bulanık yaklaşım ile karar vericilerin belirsizlik tercihlerini esnek bir şekilde ifade edebilmelerini (Vinodh ve Kumar Chintha, 2011) sağlamaktadır. Ek olarak DEMATEL ve ANP yöntemleri ile sekiz israf türünün birbirleriyle olan ilişkilerini göz ardı etmeden önceliklerinin belirlenmesi ve uygulanabilecek yalın uygulamalar ile etkileşimlerini bir bütün olarak sentezleyecek hibrit QFD modeli çerçevesi, üretim ortamında karşılaşılan israfların kapsamlı bir şekilde incelemesini kolaylaştırabilir ve iyileştirmelerin sistematik şekilde yürütülmesine katkı sağlayabilir. Çalışmada cevaplanacak araştırma soruları aşağıda sıralanmaktadır:

- Üretim ortamında karşılaşılan temel yalın israf türleri nelerdir?

• İsraf türlerinin birbirleri üzerindeki olası etkileri ve aralarındaki ilişkileri durumları nasıldır?

• İsrafların azaltılmasında yararlanılan yalın uygulamalar arasındaki ilişki nedir?

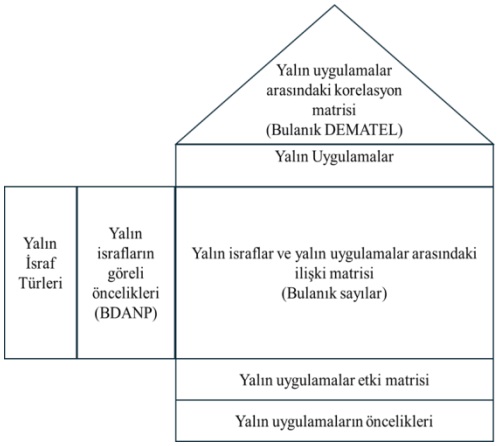
• İsrafların azaltılması için uygulanabilecek en önemli ve öncelikli yalın uygulamalar nelerdir?

2. Araştırma Tasarımı ve Yöntem

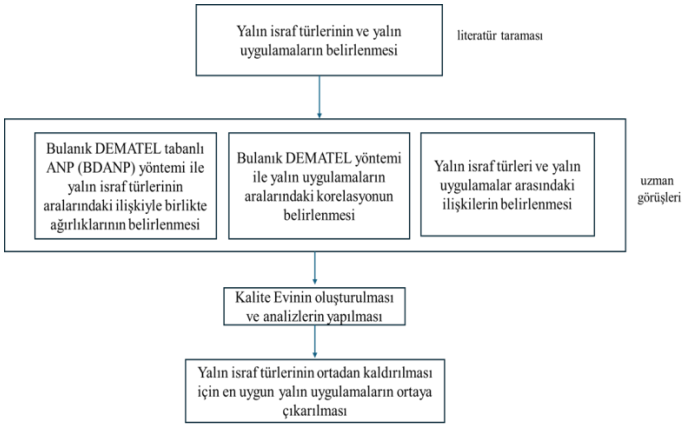
Bu çalışma, yalın üretim paradigmasının temel hedefi olan israflardan arındırılmış bir üretim ortamının sağlanması için gerekli yalın uygulamaların belirlenmesine ilişkin hibrit bir analitik yaklaşım sunmaktadır. Üretim sektöründe ve süreçlerde bulanık mantığın büyük fayda sağladığı (Reda ve Dvivedi, 2022) gerçeği de dikkate alınarak Kalite Fonksiyon Göçerimi (QFD) yönteminin Bulanık sayılar ve DEMATEL, Analitik Ağ Süreci (ANP) ile entegre edilebilmesi, bu çalışmanın metodolojik amacını oluşturmaktadır. Çalışmada kullanılan Bulanık-QFD-BDANP çerçevesinin Kalite evi modeli ve araştırma tasarımı Şekil 1a ve Şekil 1b'de verilmektedir. Araştırmaya başlamadan önce Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Yayın Etiği Kurulu'ndan (Karar no: 2025/83) etik kurul izni alınmıştır.

Çalışmada sunulan hibrit model devam eden kısımda verilmektedir.

Şekil 1a: *Bulanık-QFD-BDANP Hibrit Modeline İlişkin Kalite Evi*



Şekil 1b: *Araştırma Tasarımı*

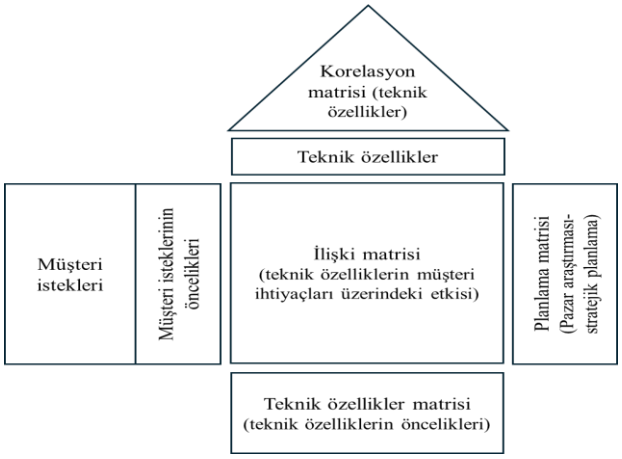


Bulanık-QFD-BDANP Hibrit Modeli

QFD, ürün tasarım sürecinde müşteri ihtiyaçlarını teknik parametrelere etkili şekilde dönüştürebilen müşteri odaklı bir tasarım yöntemi olarak tanımlanmaktadır (Zhu vd., 2021, s. 7; Kecek ve Akıncı, 2016, s. 113). 1960'lı yılların sonlarında ortaya çıkan QFD, özellikle planlama fonksiyonunu yakından ilgilendiren bir araç olup, örgüt içindeki pek çok bölümün ortak çalışmasını gerektirmektedir (Tunca ve Bayhan, 2012). Dolayısıyla işlevlerarası entegreasyonun vurgulandığı QFD'nin; fonksiyonlar arası bir ekip aracılığıyla müşteri ihtiyaçlarını tasarıma, servise, üretimin tüm aşamalarına ve nihai ürünlere/hizmetlere dönüştürdüğü için; her aşamada yeterli düzeyde kalitenin sağlanmasında etkili bir yöntem olduğu savunulmaktadır (Hsu vd., 2022, s. 346). Bilgi ve deneyimi bir arada kullanan QFD'nin temel aracı Kalite evi'dir (Kecek ve Akıncı, 2016). Kalite Evi, ürün/hizmet tasarımına ilişkin önemli bilgilerin QFD ekibi tarafından görüntülenmesini sağlayan bir dizi odalardan oluşan matrisler setidir (Tunca ve Bayhan, 2012). Kalite evi; müşteri ihtiyaçlarının ve ağırlıklarının belirlenmesi, müşteri ihtiyaçları ile teknik (mühendislik) özellikler arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve teknik özellikler arasındaki korelasyonun ve önemlerinin açıklığa kavuşturulması olmak üzere üç temel aşamadan oluşmakta;

bu aşamalarda matris yapılardan faydalanmaktadır (Şekil 2) (Hsu vd., 2022, s. 346; Zhu vd., 2021, s. 7).

Şekil 2: *Kalite evi*



Kaynak: (Tunca ve Bayhan, 2012, s. 57)

QFD, teknik gereksinimlerin bilimsel önceliklendirilmesi yoluyla karar alma, ürün tasarımı ve müşteri memnuniyeti süreçlerini iyileştirmek için etkili ve sistematik bir yöntem olarak birçok endüstride yaygın olarak uygulanmaktadır (Bhuvanesh Kumar ve Parameshwaran, 2018, s. 406). QFD'nin adında yer alan kalite, yalınlığın performans boyutlarından biri olup müşteri memnuniyetini hedef almaktadır. Müşteri memnuniyetinin sağlanmasında, müşteri isteklerinin işletme içindeki teknik gereksinimlere dönüştürülmesi büyük önem arz etmektedir. Bu amaç için kullanılan bir yöntem olan QFD'deki kalite evinin oluşturulmasında dilsel yargıların belirsizliğiyle başa çıkmak gerektiği belirtilmektedir (Vinodh ve Kumar Chintha, 2011). Diğer taraftan geleneksel QFD yönteminin öznel nitelikte olan büyük miktarda veriyi analiz etme ihtiyacı ve ilgilenilen alana ilişkin fazlaca bilgi ve beceri gerektirmesi, esneklikten uzak olması gibi sınırlılıklara neden olmaktadır (Wolniak, 2018). Bu sınırlamalara çözüm getirmek amacıyla literatürde pek çok çalışmada QFD ile ÇKKV yöntemleri entegre edilmiştir (Yazdani vd., 2020; Chen vd., 2021).

Uygulama ve analiz kolaylığı açısından pek çok alan ve sektörde en yaygın kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biri AHP (Analytic Hierarcy Process) olsa da bu yöntem karar problemindeki faktörler arasındaki karşılıklı ilişkileri göz ardı etmektedir (Hatefi ve Tamošaitienė, 2019). Karşılıklı ilişkileri dikkate alabilen ANP yönteminin de; içsel bağımlılık durumlarının tespit edilmesinde fazlaca ikili karşılaştırma sorularına ihtiyaç duyması nedeniyle karmaşık anket formuna sahip olması ve özellikle anketler için tutarlılığın sağlanma zorluğu (Jiang vd., 2018) gibi gerekçelerle yaygın kullanılamadığı görülmektedir. Literatürde, karmaşık problemlerin neden-sonuç ilişkilerini belirlemek ve analiz etmek için DEMATEL yönteminin güçlü bir araç olduğu savunulmaktadır (Chen, 2015). En önemli özelliği, ampirik yapısal bir model oluşturarak karşılıklı bağımlılıkları daha anlaşılır hale getirebilmesidir (Büyüközkan ve Cifci, 2012; Hatefi ve Tamošaitienė, 2019). Son yıllarda çeşitli alanlarda karmaşık ve karşılıklı ilişkilere dayalı problemlerin etkin çözümünde DEMATEL ve ANP yöntemlerin birleştirildiği çalışmaların ön plana çıktığı fark edilmektedir. Daha fazla anket sorusunun cevaplandırılmasının önüne geçilmesi ve karar vericilerin yargısına bırakılan ağ yapısının hesaplanabilir değerlere dönüştürülebilmesi, kriterlerin ikili karşılaştırılmasının sadece kümeler içinde değil sistemin bütünü içinde dikkate alınarak bu karşılaştırmaların daha pratik hale getirilmesi (Kim vd., 2021) açısından DEMATEL tabanlı ANP (DANP) hibrit yaklaşımının pragmatik olduğu ifade edilmektedir (Büyüközkan ve Cifci, 2012). Daha da önemlisi DANP yönteminin, anketlerin tutarlılık testinden bağımsız olması ANP'ndeki tutarlılık zorluğu sorununu da etkili bir şekilde çözebilmektedir (Jiang vd., 2018).

DEMATEL-ANP entegrasyonuna dayalı hibrit yaklaşım, karşılaşılan problemlerin değerlendirilmesinde pek çok avantaja sahip ve faydalı olmasına rağmen gerçek karmaşık ortamın belirsizliğini yansıtmayıp kesin değerlerle çalışması nedeniyle sınırlıdır (Kim vd., 2021; Büyüközkan ve Cifci, 2012). Nitekim özellikle belirsiz durumlarda uzmanların görüşlerini kesin rakamlarla tahmin etmek çok zordur, çünkü kararların sonucu büyük ölçüde kesin olmayan ve belirsiz zihinsel yargılara bağlıdır. Bu nedenle faktörler arasındaki ilişkileri anlamak ve karmaşıklığı ölçmek için bulanık yaklaşım ÇKKV yöntemlerinde şiddetle tavsiye edilmektedir (Hatefi ve Tamošaitienė, 2019; Kim vd., 2021). Buna istinaden bu çalışmada Bulanık-QFD-DEMATEL tabanlı ANP (Bulanık-QFD-BDANP) yöntemlerinin entegrasyonuna dayalı bir hibrit model sunulmaktadır. Modele ilişkin analiz adımlarının oluşturulmasında Hsu vd. (2022) ile Zhu vd. (2021) çalışmalarından faydalanılmıştır. Analizde takip edilen adımlar aşağıda sıralanmaktadır.

Adım 1: Yalın israf türlerinin ve bu israf türlerinin azaltılmasına ilişkin yalın uygulamaların belirlenmesi

Çalışmada, yalın üretim paradigmasının tanımladığı ve literatüre yerleşmiş yedi israf türü temel alınmakla birlikte son yıllarda çalışanların ve yeteneklerinin öneminin artmasıyla gündeme gelen "kullanılmayan yetenek" israf türü de çalışmaya dahil edilmiş sekiz yalın israf türü inceleme kapsamına alınmıştır (Tablo 1).

İsraf türlerinden farklı olarak bu israf türlerinin azaltılmasında kullanılan yalın uygulamalara ilişkin literatürde standart bir araç seti bulunmamaktadır. Çalışmalarda bahsi geçen uygulamaların da (Tablo 2) bir kısmı araç bir kısmı yöntem olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla yalın strateji şemsiyesi altındaki yöntem ve araçlar içiçe geçmiş farklı sınıflandırmalara sahiptir. Bu çalışmada yöntem veya araç yerine yalın uygulama ifadesinin kullanılmasının hem daha kapsayıcı olacağı hem de daha spesifik öneriler geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmüş; çalışmayı karmaşıklaştırmadan, yeterince yalın uygulamanın çalışmaya dâhil edilmesi hedefiyle Tablo 3'de verilen yalın uygulamalar temel alınmıştır.

Adım 2: Bulanık DEMATEL tabanlı ANP (BDANP) yöntemi ile yalın israf türlerinin ağırlıklarının belirlenmesi

Yalın israflar, birbirleriyle doğrudan ve dolaylı olarak ilişkidir (Anggraini vd., 2022, s. 3) ve her bir israf türü farklı durumlarda farklı önem düzeylerine sahiptir (Rawabdeh, 2005, s. 805). Nitekim bu çalışmada kendi aralarındaki ilişkileri de dikkate alarak israf türlerini önceliklendirmek için BDANP yöntemi kullanılmaktadır. Yalın üretim danışmanları, bulanık DEMATEL dilsel ölçeği (Tablo 4) aracılığıyla israfları ikili olarak karşılaştırarak değerlendirmiştir. Elde edilen veriler devam eden kısımda yer alan BDANP adımları takip edilerek analiz edilmiş ve israf türlerinin ağırlıkları (öncelikleri) hesaplanmıştır. İsraf türlerinin ağırlıkları (W1), kalite evinin sol tarafını tamamlayarak bir sonraki sürece hazırlanmıştır (Şekil 1a).

Adım 3: Bulanık DEMATEL yöntemi ile yalın uygulamalar arasındaki korelasyon matrisinin oluşturulması

İşletme süreçlerinde yalın uygulamaların birbirlerini etkilediği çoğu zaman karşılıklı olarak birbirlerini desteklediği literatürde belirtilmektedir (Knol vd., 2022, s. 263). Yalın uygulamalar arasındaki içsel bağımlılıkların belirlenmesine ilişkin veriler; yalın danışmanların (nxn) boyutundaki matrisi Bulanık DEMATEL dilsel ölçeğine (Tablo 4) göre değerlendirmeleri ile elde edilmiştir. Bulanık DEMATEL yönteminin adımları takip edilerek yalın uygulamalar arasındaki ilişki matrisi (W2) oluşturulmuş, kalite evinin çatısında yer alacak şekilde sonraki sürece hazırlanmıştır (Şekil 1a).

Tablo 3: *İsraf Türlerinin Azaltılmasında Kullanılan Yalın Uygulamalar ve Tanımları*

Yalın uygulamalar	Tanım
VSM	Hammaddelerin satın alınmasından nihai ürünlerin müşteriye teslimine kadarki süreçte tüm özel faaliyetlerin tanımlanması, malzeme ve bilgi akışının grafiksel olarak sunulması olup; israfların ortadan kaldırılmasını, görevlerin hızlı ve kolay hale gelmesini sağlar.
5S	Ayıklama, düzenleme, temizleme, süreklilik, disiplinin Japonca karşılığı olan kelimelerin (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke) baş harflerinden oluşur. İsrafların azaltılmasının ilk adımı ve modüler çözümü olup; çalışma ortamının düzenlenmesini sağlayan bir dizi kuralı ifade etmektedir.
SMED	Üretimdeki tezgâh veya makinelerin değişim süresinin kısaltılmasına öncülük eden bir dizi tekniktir. Uzun vadeli hedefin sıfır kurulum olduğu bu yaklaşımda değişikliklerin anında gerçekleşmesi ve üretimdeki duruluşların olmadığı sürekli akışa ulaşmak istenir.
Takt time	Müşterinin ürünü satın alma hızını ifade etmekte olup; üretim hızının müşteri talebine uyacak şekilde ayarlanmasını sağladığından yalın bir sistemin merkezi olarak tanımlanır.
Hücresel imalat	Taşıma, bekleme ve işlem sürelerini azaltmak için belirli bir ürün veya ürünler için tüm sürecin, tüm ekipmanın, makine ve operatörlerin bir hücre halinde sistemleştirilmesi olarak tanımlanır.
Kanban (Pull production)	Üretim ve teslimat emirlerinin alt aşamalardan (müşteri) üst aşamalara (tedarikçi) doğru kademeli olarak iletildiği, çekme tipi üretim sistemidir. Üretim emirlerinin müşterilerden alınan siparişlerle senkronize edilmesini, malzeme/ürünlerin israf olmadan hareket etmesini sağlamaktadır.
Standart operasyon prosedürü	İşlerin ve üretim süreçlerinin devamlılığı için kullanılan bir araç olup; tüm operatörler tarafından yapılan tekdüze operasyonlar/görevler anlamına gelmektedir. Tüm adımların aynı şekilde, aynı sırayla ve aynı zamanda, sabit bir maliyetle uygulanmasına olanak tanımaktadır.
Poka-Yoke	Sipariş veya üretim sırasındaki kusurların önlenmesi için kullanılan hata önleyici bir cihaz veya prosedür olarak tanımlanmaktadır. Çalışanların eğitimi için harcanan sürenin azaltılması, birçok kalite kontrol işleminin ortadan kaldırılması, hata miktarının azaltılması ve sürecin kontrol altına alınmasını sağlamaktadır.
Jidoka	Üretim sırasında bir arıza veya sorun ortaya çıktığında operatörün üretim hattını veya makineyi durdurma yeteneğini ifade etmekte; daha verimli bir üretim süreci sağlamaktadır.
Kalite çemberleri	Çeşitli sorunları inceleyen ve çözümler sunan üyelerden oluşan ekibi ifade etmekte; israfların azaltılmasına ilişkin girişimlerin geliştirilmesi ve uygulanmasını sağlamaktadır.
Çalışan katılımı	Çalışanların sürekli iyileştirme sürecine, sorunların çözümü ve süreçlerin geliştirilmesine dahil edilmesini ifade etmekte; öneri programlarını yönetmelerini ve işlevler arası eğitimden geçmelerini sağlamaktadır.

Kaynak: Womack ve Jones, 2003; Rewers vd., 2016; Bhasin ve Burcher, 2006; Veseli vd., 2024 kaynaklarından faydalanılarak yazar tarafından oluşturulmuştur.

Adım 4:Yalın israf türleri ve yalın uygulamalar arasındaki ilişki matrisinin elde edilmesi

İsraflar ile yalın uygulamalar arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde; katılımcılara kolaylık sağlamak için diğer anket kısımlarındaki gibi bulanık dilsek ölçek (Tablo 4) kullanılmıştır. Yalın danışmanların bulanık görüşlerinin durulaştırılması ve ortalamalarının alınmasıyla elde edilen israflar ve yalın uygulamalara ilişkin ilişkisel matris (W3), kalite evinin ortasında yer almaktadır (Şekil 1a).

Adım 5: Yalın uygulamaların öneceliklendirilmesi-sıralanması

Adım 3'de elde edilen yalın uygulamalar arasındaki ilişki matrisi (W2) ile Adım 4'de elde edilen israflar ve yalın uygulamalar arasındaki ilişki matrisi (W3) çarpılmıştır. Elde edilen matris (W4), Adım 2'deki israf türlerine ilişkin ağırlıklar (W1) ile çarpılmış; yalın uygulamaların ağırlıklarına ulaşılmıştır.

Devam eden kısımda QFD ile entegre edilen bulanık sayılar, Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı (DEMATEL), bulanık DEMATEL tabanlı ANP (BDANP) yöntemleri anlatılmaktadır.

Bulanık Sayılar

Karar vericilerin karar verme sürecinde karşılaştıkları en önemli zorluklardan biri; doğru/yanlış, çok yüksek, yüksek, orta ya da evet/hayır gibi belirsiz bilgilerle uğraşmalarıdır (Reda ve Dvivedi, 2022). Bu belirsiz bilgilerin matematiksel karar sistemlerine entegrasyonu bulanık mantık ile

mümkün olmaktadır (Başkaya ve Öztürk, 2011). Bulanık mantık, bilginin tam ve kesin olmadığı veya konuşma dilinde kullanılan sözcüklerden kaynaklanan belirsiz ve karmaşık durumlarda, insan algılamasına ve karar vermesine dayanan süreçlerde kullanılan matematiksel bir yol olarak tanımlanmaktadır (Başkaya ve Öztürk, 2011, s. 115). Bulanık mantık, modellemede araç olarak bulanık kümeleri kullanarak kesin olmayan önermelerin yaklaşık muhakemesi için esaslar ortaya koymaktadır (Kabak ve Erdebilli, 2021, s. 3).

Bir $\tilde{A}$ bulanık kümesi, [0,1] kapalı aralığında tanımlanan ve üyelik fonksiyonu ($\mu_{\tilde{A}}$) adı verilen karakteristik bir fonksiyon ile ifade edilmektedir. Bulanık kümede yatay eksende bir gerçek sayı (x), düşey eksende 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesine ($\mu_{\tilde{A}}(x);\ 0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) \leq 1$) dönüştürülmektedir (Kabak ve Erdebilli, 2021, s. 4). Bulanık mantıkta bulanık sayıları temsil etmek için en yaygın kullanılan üyelik fonksiyonlarından biri üçgen bulanık sayılardır. $\tilde{A}$ üçgen bulanık sayılar üç elemandan oluşmakta (l, m, r); l ve r alt ve üst sınırları, m ise üçgen bulanık sayının tepe noktasını ifade etmektedir. Üçgen bulanık sayılar için, üyelik fonksiyonu Denklem 1'de gösterilmektedir (Başkaya ve Öztürk, 2011, s. 117; Reda ve Dvivedi, 2022, s. 2):

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} x = b\ ,\ 1 \\ \frac{(x-l)}{m-l}\ , l \leq x \leq m \\ \frac{(r-x)}{r-m}\ , m \leq x \leq r \\ 0\ , \text{aksi durumlarda} \end{cases} \quad (1)$$

Bulanık DEMATEL Yöntemi

DEMATEL (Karar verme deneme ve değerlendirme laboratuvarı) yöntemi, karmaşık ve iç içe geçmiş problemlerin çözülmesi için geliştirilmiş grafiksel temelli bir yöntem olup karar sürecinde etkili kriterlerin ilişkilerini açıklayıcı bir model ile ortaya koyarken, ilişkinin cinsi ve birbirleri üzerindeki etkileri açısından kriterlerin önem sıralarının belirlenmesini sağlamaktadır (Ayçin, 2019, s. 90). Bulanık DEMATEL yöntemi ise insan yargılarının belirsiz olduğu ve kesin sayısal değerlerle ifade edilmesinin zor olduğu durumlar için kullanılmaktadır. Kesin yargılar (0-1 mantığı) yerine dilsel ifadeler yardımıyla değerlendirme yapılmasını sağlayan bulanık DEMATEL yönteminin aşamaları aşağıda sıralanmaktadır (Eroğlu ve Gencer, 2021, s. 67):

I. *Kriterlerin belirlenmesi:* Karşılaşılan problemin amaç ve kapsamına uygun olacak şekilde değerlendirilmesi gereken kriterler araştırmacı veya karar vericiler tarafından belirlenir (Eroğlu ve Gencer, 2021, s. 69).

II. *Başlangıç bulanık direkt ilişki matrisinin oluşturulması:* DEMATEL'de kriterler arasındaki ilişkilerin incelenmesi için ikili karşılaştırmalar aracılığıyla bir kriterin diğer kriter üzerindeki etki oranının değerlendirilmesi gerekmektedir. Değerlendirmelerde mevcut belirsizliklerin dikkate alınması ve uzmanların niteliksel yanıtlarını niceliksel değerlere dönüştürmek için yüksek yeteneğe sahip olduğu savunulan (Hatefi ve Tamošaitienė, 2019) bulanık dilsel değişkenler ölçeği kullanılabilmektedir (Tablo 4).

Tablo 4: *Bulanık Dilsel Ölçek*

Dilsel değişkenler	Etki değeri (bulanık üçgen sayılar)
Etkisi yok	(0, 0, 0.25)
Çok düşük etki	(0, 0.25, 0.50)
Düşük etki	(0.25, 0.50, 0.75)
Yüksek etki	(0.50, 0.75, 1.00)
Çok yüksek etki	(0.75, 1.00, 1.00)

Kaynak: (Kim vd., 2021; Hatefi ve Tamošaitienė, 2019)

K adet uzman veya katılımcıdan (k= 1,2,…,p) elde edilen, n adet kriter arasındaki karşılaştırmalar ve etkilerin dilsel ifadeleri üçgen bulanık sayılara dönüştürülür ve her uzman için (k adet) n x n boyutlu; $\tilde{Z}^k = \left[\tilde{z}_{ij}^k\right]$ başlangıç bulanık direkt ilişki matrisi elde edilir (Kim vd., 2021). Kriter i'nin

kriter j üzerindeki etkisi hakkında k'inci uzmandan elde edilen bulanık değerlendirme $\tilde{z}_{ij}^{k} = l_{ij}^{k}, m_{ij}^{k}, r_{ij}^{k}$ şeklinde ifade edilir ve bu ifadenin başlangıç bulanık direkt ilişki matrisinin $(\tilde{Z})$ bir elemanı olduğu varsayılır (Hatefi ve Tamošaitienė, 2019).

III. *Başlangıç bulanık direkt ilişki matrisinin durulaştırılması: B*aşlangıç direkt ilişki matrisinin durulaştırılarak kriterler arasındaki ilişkilerin kesin değerlere dönüştürülmesi gerekir. Bulanık sayıların durulaştırılması sürecinde; daha büyük üyelik fonksiyonu ile daha büyük kesin değerleri verdiği gerekçesiyle CFCS (Converting fuzzy data into crisp scores-CFCS) yöntemi önerilmektedir (Opricovic ve Tzeng, 2003; Hatefi ve Tamošaitienė, 2019). Başlangıç bulanık direkt ilişki matrisinin durulaştırılmasında aşağıdaki beş aşama takip edilmektedir (Opricovic ve Tzeng, 2003; Hatefi ve Tamošaitienė, 2019):

- Başlangıç bulanık direkt ilişki matrisinin normalizayonu; matrisin tüm elemanları için Denklem (2),(3),(4),(5) yardımıyla gerçekleştirilir.

$$\Delta_{min}^{max} = \max r_{ij}^{k} - \min l_{ij}^{k} \text{ olmak üzere; } [\text{tüm } a_j (j = 1,2,..J) \; için \; xl_{ij}^{k}, xm_{ij}^{k}, xr_{ij}^{k}] \quad (2)$$

$$\mathrm{xl}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}} = (\mathrm{l}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}} - \min \mathrm{l}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}})/\Delta_{\min}^{\max} \quad (3)$$

$$\mathrm{xm}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}} = (\mathrm{m}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}} - \min \mathrm{l}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}})/\Delta_{\min}^{\max} \quad (4)$$

$$\mathrm{xr}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}} = (\mathrm{r}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}} - \min \quad \mathrm{l}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}})/\Delta_{\min}^{\max} \quad (5)$$

- Sol (ls) ve sağ (rs) normalize değerler; matrisdeki üyelik fonksiyonlarına ilişkin sol ve sağ değerler (tüm j=1,2,…j için) Denklem (6), (7) ile elde edilir.

$$\mathrm{xls}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}} = \mathrm{xm}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}}/(1 + \mathrm{xm}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}} - \mathrm{xl}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}}) \quad (6)$$

$$\mathrm{xrs}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}} = \mathrm{xr}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}}/(1 + \mathrm{xr}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}} - \mathrm{xm}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}}) \quad (7)$$

- Normalize edilmiş toplam kesin değerlerin hesaplanmasında; (tüm j=1,2,…j için) Denklem (8) kullanılır.

$$\mathrm{x}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}} = \left[\mathrm{xls}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}}\left(1 - \mathrm{xls}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}}\right) + \mathrm{xrs}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}}\,\mathrm{xrs}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}}\right]/[1 - \mathrm{xls}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}} + \mathrm{xrs}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{k}}] \quad (8)$$

- Tüm $j = 1,2,..J$ için kesin değerler Denklem (9) yardımıyla hesaplanır.

$$z_{ij}^{k} = min l_{ij}^{k} + x_{ij}^{k}\,\Delta_{min}^{max} \quad (9)$$

- p adet uzman görüşüne karşılık gelen kesin değerler Denklem (10) ile birleştirilir.

$$\mathrm{Z}_{\mathrm{ij}} = \frac{1}{\mathrm{p}}\,(\mathrm{z}_{\mathrm{ij}}^{1} + \mathrm{z}_{\mathrm{ij}}^{2} + \cdots + \mathrm{z}_{\mathrm{ij}}^{\mathrm{p}}) \quad (10)$$

Z_{ij} ifadesi kriter i'nin kriter j üzerindeki etki derecesini temsil etmektedir. Dolayısıyla Z matrisi, p adet uzman değerlendirmelerinin durulaştırılması ile elde edilen durulaştırılmış başlangıç direkt ilişki matrisidir.

IV. *Direkt ilişki matrisinin oluşturulması:* Durulaştırılmış başlangıç direkt ilişki matrisi Z'nin, Denklem (11), (12) yardımıyla normalleştirilmesi ile her bir elemanı *0-1* arasında değer alan direkt ilişki matrisi (Y) elde edilir (Opricovic ve Tzeng, 2003):

$$\mathrm{Y} = \mathrm{s}.\mathrm{Z} \quad (11)$$

$$\mathrm{s} = \min\left[\frac{1}{\max_{1\le \mathrm{i}\le \mathrm{n}} \sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{z}_{\mathrm{ij}}}, \frac{1}{\max_{1\le \mathrm{j}\le \mathrm{n}} \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{z}_{\mathrm{ij}}}\right] \quad \mathrm{i,j} = 1,2\ldots,\mathrm{n} \quad (12)$$

V. *Toplam ilişki matrisinin hesaplanması:* Kriterler arasındaki direkt ve direkt olmayan etkilerini gösteren Toplam ilişki matrisini (T*)* hesaplamak için Y^{∞} değeri hesaplanmalı ve DEMATEL'in başarılı bir şekilde çalışabilmesi için bu matrisin sıfır matrise

$[0]_{\text{nxn}}$ yakınsaması gerekmektedir ($\lim_{k\to\infty} Y^k [0]_{nxn}$). Normalize edilmiş ilk direkt ilişki matrisi (Y) sadece direkt ilişkileri göstermektedir. Problemlerin direkt olmayan etkilerinin sürekli azalışı Y matrisinin kuvvetleri ile hesaplanmaktadır. Toplam ilişki matrisi T; Denklem (13) ile elde edilir (I birim matris olmak üzere) (Opricovic ve Tzeng, 2003);

$$\mathrm{T} = \mathrm{Y}\,(\mathrm{I} - \mathrm{Y})^{-1} \tag{13}$$

VI. *Kriterler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi:* Kriterler arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde toplam ilişki matrisinin (T); satır toplamları (D) ve sütun toplamlarının (R) Denklem (14),(15),(16)'dsn faydalanılır. D, bir kriterin diğer kriterlere kazandırdığı hem dolaylı hem de doğrudan etkileri; R ise kriterin diğer kriterlerden aldığı hem dolaylı hem de doğrudan etkileri göstermektedir. 'Önem' olarak bilinen (D+R) indeksi, kriter tarafından verilen ve alınan toplam etkileri ifade etmenin yanında kriterin tüm sistemdeki önem derecesini de göstermektedir. 'İlişki' olarak adlandırılan (D-R) indeksi ise kriterin sisteme katkıda bulunduğu net etkiyi gösterir. Bu değer pozitif (+) ise kriter net neden grubunda yer alırken, değer negatif (-) olduğunda kriter net etki (alıcı) grubunda yer alır (Srdjevic ve Lakicevic, 2022).

$$\mathrm{T} = [\mathrm{t_{ij}}]_{\mathrm{nxn}}, \quad \mathrm{i,j} = 1.2, \ldots, \mathrm{n}, \tag{14}$$

$$\mathrm{D} = \left[\sum_{j=1}^{n} \mathrm{t_{ij}}\right]_{\mathrm{nx1}} = [t_i]_{\mathrm{nx1}} \tag{15}$$

$$\mathrm{R} = \left[\sum_{j=1}^{n} \mathrm{t_{ij}}\right]_{\mathrm{1xn}} = [t_i]_{\mathrm{nx1}} \tag{16}$$

DEMATEL'de, kriterler arasındaki tüm ilişkiler dikkate alındığında; değerli bilgileri gözden kaçırabilecek kadar karmaşık bir yapı elde edilebilir (Srdjevic ve Lakicevic, 2022). Bu nedenle kriterler arasındaki küçük ilişkilerin göz ardı edilerek güvenilir bir ilişkiler ağı oluşturulması için eşik değerden (α) faydanılmakta; T matrisinde eşik değerden büyük olan kriterler arasındaki ilişkilerin dikkate alınması tercih edilebilmektedir (Herat vd., 2012). Eşik değer (α), toplam ilişki matrisinin elemanlarının ortalama değeri alınarak belirlenmektedir (Yang vd., 2008).

VII. *Kriter ağırlıklarının belirlenmesi:* Kriter ağırlıkları, (D+R) ve (D-R) indeksleri yardımıyla Denklem (17) ve (18) yardımıyla hesaplanır (Eroğlu ve Gencer, 2021;73).

$$W_i = \sqrt{(D+R)^2 + (D-R)^2} \tag{17}$$

$$w_j = \frac{W_{\mathrm{i}}}{\sum_{J=1}^{n} W_i} \tag{18}$$

Bulanık DEMATEL Tabanlı ANP (BDANP)

Bulanık DANP yöntemine ilişkin süreç; bir önceki bölümde bahsedilen Bulanık DEMATEL yöntemi ile toplam ilişki matrisinin *(T)* elde edilmesi akabinde aşağıdaki aşamaları takip etmektedir.

*I.*Ağırlıklandırılmış süper matrisin elde edilmesi: DEMATEL yöntemi ile elde edilen toplam ilişki matrisi (T), ağırlıklandırılmış süper matris ($\mathrm{W_W}$) olarak kabul edilmektedir (Yang vd. 2008).

II. Limit süper matrisin elde edilmesi: Ağırlıklandırılmış süper matrisin belli bir sayıda (n=rastgele seçilmiş büyük sayı) kuvveti alınarak ağırlıklandırılmış süpermatrisin yakınsaması sağlanır; her satırda elemanların değerleri birbirine eşitlenene kadar Denklem (19)'daki hesaplama yapılır (Hsu vd., 2022; Koca vd., 2021). Limit süper matris olarak ifade edilen bu matris kriterlere ilişkin öncelik vektörlerini yani ağırlıklarını vermektedir (Yang vd. 2008).

$$\lim_{n\to\infty} (W_W)^n \tag{19}$$

2.1. Veri Toplama

Çalışmada israflar ve yalın uygulamalara ilişkin değerlendirme verileri anket formu aracılığıyla toplanmıştır. Birinci anket israf türleri arasındaki ilişki ve karşılıklı etkilerin değerlendirileceği DEMATEL soruları (ANP yöntemi doğrudan DEMATEL sonuçlarına dayanmakta); ikinci anket yalın uygulamalar arasındaki ilişki ve karşılıklı etkilerin değerlendirileceği DEMATEL soruları; üçüncü anket her bir israf türünün azaltılması için gerekli yalın uygulamaların değerlendirilebileceği sorularından oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Anketlerde uzman değerlendirmeleri için "Etkisi yok", "Çok düşük etki", "Düşük etki", "Yüksek etki" ve "Çok yüksek etki" şeklindeki beş seviyeli bulanık dilsel ölçek kullanılmıştır. Bu değerlendirmeler, verilerin düzenlenme sürecinde bulanık üçgen sayılara dönüştürülmüştür (Tablo 4).

Bu çalışmanın örnekleme kapsamı; uzmanlık ve deneyim açısından ilgili verilerin en rasyonel şekilde sağlanabilmesi için yalın üretim ve felsefesi hakkında işletmelere eğitim ve danışmanlık hizmeti veren uzmanlarla sınırlı tutulmuştur. Nitekim örnekleme yöntemi konusunda DEMATEL, ANP gibi ÇKKV yöntemleri açısından farklı yaklaşımlar sunulmakla birlikte Herat vd. (2012)'ne göre DEMATEL yöntemi, uzmanların bilgilerini kullanarak bir sistem yapısı tasarlamaktadır. Bu nedenle katılımcıların seçilmesinde ilgili alandaki uzmanlık bilgisi ve deneyim düzeyinin önemli olması (Farooq vd., 2018), minimum veri ile olası sonuçları ortaya koyabilmesi; bu yöntemin diğer yöntemlere göre sunduğu başlıca avantajlar olarak ifade edilmektedir. Hem kullanılan yöntem de hem de bu çalışmanın amacı göz önünde bulundurularak çalışmada heterojen bir örnekleme yöntemi kullanılmıştır (Kim vd., 2021). Görüşülen uzmanların gönüllü olarak çalışmaya katılmasının ve kararlılıklarının; veri zenginliği ile veri kalitesini arttıracağından, ayrıca bilgi açısından zengin veya uygun görüşmecileri seçmek için kolayda örnekleme ile amaçlı örnekleme yöntemleri benimsenmiştir. Çalışmaya uygun katılımcıların belirlenmesinde; yalın üretim ve felsefesi konusunda işletmelere danışmanlık ve eğitim hizmeti veren bir şirkette çalışıyor olmasının yanında en az beş yıllık deneyim sahibi olması koşulları istenmiştir.

Örneklem büyüklüğü gereklilikleri açısından farklı araştırmalar ÇKKV yöntemlerinde; uzmanların mevcudiyeti ve ulaşılabilirliğine bağlı olarak katılımcı sayısının 3 ile 21 arasında değişebileceğinden bahsedilmektedir (Chen, 2015). Hatta bazı araştırmalarda teorik olarak karar verme sürecinde katılımcı sayısında bir sınır özellikle alt sınır olmadığı ifade edilmektedir (Lee vd., 2018). Bu kapsamda İzmir, İstanbul, Ankara, Bursa, Kocaeli gibi şehirlerinde yalın üretim hakkında işletmelere hizmet veren onbeş danışmanlık şirketi ile görüşülmüştür. Çalışmaya ilişkin bilgi verilmiş, katılım konusunda onayları alınarak belirttikleri mail adreslerine anketler gönderilmiştir. İlgili danışmanlık şirketlerinde aktif çalışan dört yalın üretim uzmanı geri dönüş sağlayarak anketleri gönüllü olarak cevaplamıştır. Uzmanlar; makine mühendisi (üç uzman) ile gemi inşaatı ve makineleri mühendisinden (bir uzman) oluşmakta, 49-61 yaş aralığında ve yalın üretim danışmanlık şirketlerinde 8-15 yıl deneyime sahiptirler.

3. Bulgular

Yalın israfların azaltılması için öncelikli yalın uygulamaların belirlenmesine amacıyla yalın üretim danışmanlarından elde edilen birincil verilerin kapsamlı analizleri MS Excel 2016 tabloları ve Mathworks MATLAB (online)'da gerçekleştirilmiştir.

İsraf Türlerine İlişkin Bulgular

Üretim sürecinde karşılaşılan israf türlerinin birbirlerine bağımlılığı ve ağırlıkları (öncelik sırası) BDANP yöntemiyle belirlenmiştir. Analize, danışman değerlendirmelerinin bulanık üçgensel sayılara dönüştürülmesi ve her bir katılımcı değerlendirmesi için israflara ilişkin başlangıç direkt bulanık ilişki matrislerinin oluşturulması ile başlanmış; ardından toplam ilişki matrisi (T_i) elde edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5: *Yalın İsraf Türleri Toplam İlişki Matrisi* (T_i)

İsraf türleri	Ger.taş.	Faz.stok	Ger.hark.	Gec.-Bek.	Aşr.ür.	Aşr.işl.	Ksrlar	Kullm.yet.
Ger.taş.	0,3981	0,4876	**0,5738**	**0,5044**	0,429	0,4381	0,2812	0,1833
Faz.stok	**0,6611**	**0,5186**	**0,6387**	**0,6061**	**0,5382**	**0,568**	0,4082	0,226
Ger.hark.	**0,5483**	**0,5483**	0,447	**0,567**	**0,5305**	**0,5371**	0,28	0,2463
Gec.-Bek.	**0,5574**	**0,6272**	**0,5939**	0,443	0,4812	**0,5285**	0,289	0,2669
Aşr.ür.	**0,664**	**0,691**	**0,6226**	**0,5661**	0,44	**0,5483**	0,3767	0,2623
Aşr.işl.	**0,7253**	**0,7801**	**0,6607**	**0,6982**	**0,6628**	**0,5214**	0,4661	0,3194
Ksrlar	**0,5652**	**0,5815**	**0,5185**	**0,5688**	0,4888	**0,5155**	0,2701	0,2563
Kullm.yet.	**0,5042**	**0,5467**	**0,5226**	**0,5168**	0,4764	0,4861	0,3939	0,186

Eşik değer: 0,4899

*Koyu renkli hücreler eşik değerden yüksek olan önemli ilişkileri göstermektedir.

Toplam ilişki matrisine (T_i) göre israflar arasındaki ilişkiler için eşik değer "$\propto$=0,4899" olarak elde edilmiş; eşik değerden yüksek olan önemli ilişkiler Tablo 5'de koyu yazılmıştır. İsraf türleri arasındaki yoğun ve karmaşık ilişkilerden bahsetmek mümkündür. Eşik değerin üzerindeki ilişkiler kapsamında "kusurlar" ve "kullanılmayan yetenek" israflarının diğer israf türlerinden etkilenmedikleri; "fazla stok" ve "aşırı işleme" israf türlerinin diğer tüm israf türlerini (kusurlar ve kullanılmayan yetenek hariç) etkilediği görülmektedir.

İsraf türleri arasındaki bağımlılıkların belirlenmesi için toplam ilişki matrisindeki (T_i); satır toplamları (D_i) ve sütun toplamları (R_j); Denklem (14)-(16) yardımıyla hesaplanmış; doğrudan ve dolaylı ilişkiler belirlenmiştir (Table 6).

Tablo 6: *Yalın İsraf Türleri Neden-Sonuç İlişkileri*

İsraf türleri	**D_i**	**R_j**	**D_i+R_j**	**Di-Rj**	**Neden/etki kümesi**
Gereksiz taşımalar	3,2954	4,6236	7,9191	-1,3282	Etki
Fazla stok	4,1648	4,781	8,9458	-0,6162	Etki
Gereksiz hareketler	3,7046	4,5779	8,2825	-0,8733	Etki
Gecikme-Bekleme	3,7872	4,4703	8,2576	-0,6831	Etki
Aşırı üretim	4,171	4,0468	8,2178	0,1242	Neden
Aşırı işleme	4,834	4,1431	8,977	0,6909	Neden
Kusurlar	3,7646	2,7651	6,5296	0,9995	Neden
Kullm.yet.	3,6326	1,9464	5,579	1,6862	Neden

Tablo 6'e göre, diğer israf türlerine kazandırdığı hem dolaylı hem de doğrudan etkileri en yüksek israf "aşırı işleme" $(\mathrm{D} = 4{,}8340)$ olup; diğer israf türlerinden aldığı hem dolaylı hem de doğrudan etkileri en yüksek israfın ise "fazla stok" $(\mathrm{R} = 4{,}7810)$ olduğu görülmektedir. "Aşırı işleme" israfı, sistemde alınan ve verilen toplam etki açısından önem düzeyi $(\mathrm{D} + \mathrm{R} = 8{,}9770)$ en yüksek olan israftır. Önem düzeyi en düşük israf türü ise "kullanılmayan yetenek" $(\mathrm{D} + \mathrm{R} = 5{,}5790)$'tir. "Gereksiz hareketler", "gereksiz taşımalar", "fazla stok", "gecikme-bekleme" israflarının ilişki indeks $(\mathrm{D} - \mathrm{R})$ değerlerinin negatif olması net etki (alıcı) kümesinde yer aldıklarını göstermektedir. "Aşırı üretim", "aşırı işleme", "kusurlar", "kullanılmayan yetenek" israfları ise ilişki indeks $(\mathrm{D} - \mathrm{R})$ değerlerine göre net neden kümesinde yer almakta; diğer israf türlerini etkilemektedir.

İsraf türlerinin ağırlıkları (W1) Denklem (17) (18) aracılığıyla hesaplanmış ağırlıklar ve öncelik sırasına ilişkin elde edilen sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir.

Table 7: *İsraf Türleri Ağırlık ve Öncelik Sırası*

İsraf türleri	Gereksiz taşımalar	Fazla stok	Gereksiz hareketler	Gecikme-Bekleme	Aşırı üretim	Aşırı işleme	Kusurlar	Kullm.yet.
Ağırlıklar	0,1469	0,1517	0,1474	0,1425	0,1293	0,1331	0,0869	0,0623
Öncelik sırası	3	1	2	4	6	5	7	8

İsraf türlerinin aralarındaki ilişkilerin de dikkate alınarak önceliklerinin hesaplandığı BDANP analiz sonuçlarına göre üretim sürecinde en öncelikli israf türü "fazla stok"tur. Bu israf türünü "gereksiz hareketler" ve "gereksiz taşıma" takip etmektedir. En düşük önceliğe sahip israf türleri ise "kusurlar" ve "kullanılmayan yetenek"tir.

Yalın Uygulamalara İlişkin Bulgular

Yalın uygulamalar arasındaki ilişki matrisi Bulanık DEMATEL yöntemi ile elde edilmiştir. Bulanık dilsel değişkenler şeklinde toplanan danışman görüşlerinin bulanık üçgen sayılara dönüştürülmesi ve durulaştırma işlemlerinden sonra aritmetik ortalama alınarak (Hsu vd., 2022) başlangıç ilişki matrisi ve akabinde toplam ilişki matrisi oluşturulmuştur (Denklem 1-13). Toplam ilişki matrisi, satır toplamlarına göre normalleştirilerek (Zhu vd., 2021) normalize edilmiş ilişki matrisi (W2) elde edilmiştir (Tablo 8).

Tablo 8: *Yalın Tekniklere İlişkin Normalize Edilmiş İlişki Matrisi*

Yalın uygulamalar	VSM	5S	SMED	Takt time	Hücresl imlt	Kanban	St.oper. prosd.	Poka-yoke	Jidoka	Kalite çmb.	Çalışan katılımı
VSM	0,0720	0,0822	0,0868	0,0581	0,1127	0,1162	0,0883	0,0794	0,0955	0,1033	0,1057
5S	0,0863	0,0717	0,0983	0,0533	0,1062	0,1052	0,0899	0,0794	0,0890	0,1045	0,1160
SMED	0,0976	0,0922	0,0699	0,0638	0,1055	0,1111	0,0873	0,0743	0,0855	0,0999	0,1128
Takt time	0,1012	0,0853	0,0923	0,0458	0,1264	0,1240	0,0727	0,0743	0,0855	0,0952	0,0974
Hücresl imlt	0,0898	0,0910	0,0875	0,0662	0,0836	0,1033	0,0901	0,0815	0,0972	0,1015	0,1082
Kanban	0,0997	0,0897	0,0866	0,0659	0,1140	0,0812	0,0872	0,0786	0,0941	0,0982	0,1048
St.oper. prosd.	0,0969	0,0970	0,0921	0,0539	0,1071	0,1004	0,0689	0,0717	0,0905	0,1046	0,1168
Poka-yoke	0,0883	0,0904	0,0882	0,0524	0,1040	0,1004	0,0824	0,0621	0,1006	0,1176	0,1136
Jidoka	0,0922	0,0904	0,0808	0,0458	0,1059	0,0995	0,0914	0,0845	0,0742	0,1166	0,1187
Kalite çmb.	0,0931	0,0967	0,0862	0,0528	0,1013	0,0995	0,0914	0,0809	0,0996	0,0822	0,1164
Çalışan katılımı	0,0868	0,0973	0,0957	0,0534	0,1044	0,0968	0,0909	0,0839	0,0953	0,1088	0,0869

Tablo 8'de yer alan yalın uygulamalar ilişki matrisi (W2) kalite evinin çatısını oluşturmaktadır. Yalın uygulamalar arasındaki bağımlılıkların belirlenmesi için toplam ilişki matrisindeki (T); satır toplamları (D_i) ve sütun toplamları (R_j); Denklem (14)-(16) yardımıyla hesaplanmış; doğrudan ve dolaylı ilişkiler belirlenmiştir (Table 9).

Tablo 9'a göre, "çalışan katılımı"nın; dolaylı ve doğrudan diğer uygulamalara kazandırdığı etkilerin $(\mathrm{D} = 4{,}3433)$; ve diğer uygulamalardan aldığı etkilerin en yüksek değere sahip olduğu $(\mathrm{R} = 4{,}0261)$ görülmektedir. Nitekim "çalışan katılımı", sistemde alınan ve verilen toplam etki açısından önem düzeyi $(\mathrm{D} + \mathrm{R} = 8{,}3694)$ en yüksek olan yalın uygulamadır. Önem düzeyi en düşük uygulama ise "takt time" $(\mathrm{D} + \mathrm{R} = 4{,}7083)$'dır. "VSM", "hücresel imalat", "Jidoka" ve "kalite çemberleri"nin ilişki indeks $(\mathrm{D} - \mathrm{R})$ değerlerinin negatif olması; net etki (alıcı) kümesinde yer aldıklarını göstermektedir. Diğer yalın uygulamaların ilişki indeks $(\mathrm{D} - \mathrm{R})$ değerlerine göre net neden kümesinde yer alması diğer uygulamaları etkilediklerini göstermektedir.

Tablo 9: *Yalın Uygulamaların Neden-Sonuç İlişkileri*

Yalın uygulamalar	D_i	R_j	D_i+R_j	Di-Rj	Neden/etki kümesi
VSM	3,1181	3,3749	6,4929	-0,2568	Etki
5S	3,9547	3,3213	7,276	0,6334	Neden
SMED	3,2984	3,2669	6,5654	0,0315	Neden
Takt time	2,6449	2,0634	4,7083	0,5815	Neden
Hücresl imlt	3,1292	3,9325	7,0618	-0,8033	Etki
Kanban	3,2356	3,8134	7,0489	-0,5778	Etki
St.oper. prosd.	3,6326	3,1804	6,813	0,4522	Neden
Poka-yoke	3,1337	2,875	6,0087	0,2588	Neden
Jidoka	2,8764	3,4066	6,283	-0,5302	Etki
Kalite çmb.	3,707	3,8134	7,5205	-0,1064	Etki
Çalışan katılımı	4,3433	4,0261	8,3694	0,3172	Neden

Yalın İsraflar ve Yalın Uygulamalar Arasındaki İlişkiler, Öncelikli Uygulamalara İlişkin Bulgular

İsraflar ve yalın uygulamalar arasındaki ilişki matrisi, danışman değerlendirmelerinin bulanık üçgen sayılara dönüştürülmesi ve durulaştırma işlemlerinden sonra aritmetik ortalama alınarak elde edilmiş (W3), kalite evinin ortasına yerleşmiştirilmiştir. Daha sonra bu matris, Tablo 8'deki yalın uygulamaların normalize edilmiş ilişki matrisi (W2) ile çarpılarak etki ilişki matrisi (W4) elde edilmiştir (Hsu vd., 2022, s. 20) (Tablo 10).

Tablo 10: *Etki İlişki Matrisi*

	VSM	5S	SMED	Takt time	Hücresl imlt	Kanban	St.oper. prosd.	Poka-yoke	Jidoka	Kalite çmb.	Çalışan katılımı
Gereksiz taşımalar	0,5734	0,5609	0,5525	0,3588	0,6596	0,6524	0,5425	0,4916	0,581	0,6368	0,6832
Fazla stok	0,7039	0,6851	0,6665	0,4375	0,8172	0,7973	0,6586	0,596	0,7045	0,7781	0,8292
Gereksiz hareketler	0,5859	0,5775	0,5643	0,3723	0,6744	0,6644	0,5583	0,5051	0,5975	0,6526	0,6988
Gecikme-Bekleme	0,7198	0,7016	0,688	0,4427	0,8372	0,813	0,6699	0,6083	0,7214	0,7981	0,8489
Aşırı üretim	0,5672	0,5523	0,5455	0,3517	0,6742	0,6492	0,5322	0,4841	0,5723	0,6309	0,6666
Aşırı işleme	0,5301	0,5248	0,5086	0,3255	0,6136	0,5975	0,4992	0,4512	0,5362	0,5936	0,6269
Kusurlar	0,5441	0,5471	0,5304	0,327	0,6273	0,6087	0,5133	0,4635	0,5537	0,6242	0,6558
Kullm.yet.	0,4928	0,4923	0,4723	0,2982	0,5668	0,5499	0,4649	0,4192	0,4959	0,5569	0,5905

Son aşamada yalın uygulamaların göreli önemleri için; BDANP ile elde edilen yalın israf önem düzeyleri (W1) (Tablo 7) ile israf-uygulama etki matrisinde (W4) (Tablo 10) ilgili uygulamaya ilişkin hücre verilerinin çarpımı ve bu uygulamanın sütun toplamları alınarak yalın uygulamaların ağırlığı hesaplanmıştır (Zhu vd., 2021) (Tablo 11).

Tablo 11: *Yalın Uygulamaların Ağırlık ve Öncelik Sırası*

Yalın uygulamalar	VSM	5S	SMED	Takt time	Hücresl imlt	Kanban	St.oper. prosd.	Poka-yoke	Jidoka	Kalite çmb.	Çalışan katılımı
Ağırlıklar	0,6018	0,5909	0,5772	0,3728	0,6982	0,6811	0,5661	0,5128	0,6074	0,6710	0,7135
Öncelik sırası	6	7	8	11	2	3	9	10	5	4	1

Tablo 11'e göre üretim sürecindeki israf türlerinin ortadan kaldırılmasında en öncelikli yalın uygulama "çalışan katılımı" olup, bu uygulamalayı, "hücresel imalat" ve "kanban" ve "kalite çemberleri" takip etmektedir. Danışman görüşlerine göre "takt time"ın en düşük önceliğe sahip yalın uygulama olduğu görülmektedir.

4. Sonuç ve Tartışma

Üretim sürecinde karşılaşılan en önemli israfların belirlenmesi ve bu israfların ortadan kaldırılması için kullanılabilecek yalın uygulamaların önceliklendirilmesini amaçlayan bu çalışmada QFD ile bulanık sayılar, DEMATEL ve ANP yöntemlerini entegre eden bir hibrit model sunulmuştur. Yalın üretim ve felsefesi hakkında işletmelere danışmanlık hizmeti veren katılımcı görüşlerini veri olarak kullanan bu çalışma, örneklem grubu ve hibrit model açısından araştırma alanı özelinde yenilikçi bir yaklaşım benimserken, yalın israf ve uygulamalar açısından keşfedici nitelik taşımaktadır.

Yalın üretim paradigmasında tanımlanan, zaman ve kaynak tüketimine neden olan israflar; kalite, maliyet gibi önemli işletme performansı boyutları üzerindeki doğrudan olumsuz etkileri (Verrier vd., 2016) nedeniyle sanayide ilgi odağı olurken; bu durum akademik alana da yansımaktadır. İsraf türlerini konu edinen pek çok çalışmadan farklı olarak bu çalışma, yalın üretimde tanımlanmış yedi israf türüne ek olarak çalışmalarda yenice yer bulan kullanılmayan yetenek israf türünü de dikkate alarak literatüre katkı sağlamaktadır. Yalın israf türlerinin, aralarındaki bağımlılıkların da dikkate alındığı önceliklendirme analiz sonuçlarına göre fazla stok; üretim sürecinde karşılaşılan en önemli israf türü olup; bu israf türünü gereksiz hareketler ve gereksiz taşıma takip etmektedir. Bu sonuç Devnath vd. (2020), Anggraini vd. (2022), Reda ve Dvivedi (2022)' nın çalışma sonuçları ile paralellik göstermektedir. Zira yüksek miktarda stok bulundurmanın; daha fazla depolama alanı ve yönetim ihtiyacı gerektirmesi, yüksek maliyet artışına ve süreçte aksaklıklara sebep olması nedeniyle üretim ve işletme performansı üzerindeki doğrudan etkisi (Hilmola, 2020) düşünüldüğünde fazla stok'un en önemli israf türü olması şaşırtıcı değildir. Bu çalışmanın, kapsamında yer alan alarak literatürü zenginleştirdiği noktalardan biri olan kullanılmayan yetenek israfı; analiz sonuçlarına göre en düşük önceliğe sahip israf türüdür. Bu israf türünü dikkate alan çok kısıtlı çalışmadan Elmalky vd. (2024)'de benzer bir sonuçla karşılaşmışlardır. Brito vd. (2019), çalışanların yeteneklerinin kullanımının işletmelerin performansı ve rekabet avantajı açısından çok önemli olmasına rağmen, araştırma eksikliğine vurgu yapmaktadır. Bu çalışmanın, kullanılmayan yetenek israf türü açısından gerek sanayi gerekse akademik alanda farkındalık yaratması umulmaktadır.

Üretim sürecinde karşılaşılan israfların ortadan kaldırılmasında en öncelikli uygulamanın çalışan katılımı olması, önemli sonuçlar arasında yer almakla birlikte ulusal işletmeler açısından önemli bir gereksinimi düşündürmektedir. Knapića vd. (2023) ile Marin-Garcia ve Tomas Bonavia (2015), çalışan katılımı olmadan işletmelerde yalın paradigmanın tam anlamıyla benimsenmesinin sekteye uğrayacağını; Veseli vd. (2024) ile Ramesh ve Ravi (2017) ise yalın israfların azaltılmasında çalışan katılımının etkili olduğunu belirterek bu çalışmanın sonucunu desteklemektedirler. Fakat AB Eurofound (2015)'ın çalışma koşullarına ilişkin araştırmasında Avrupa Birliği, Norveç ve İngiltere'deki çalışanların sadece %29'nun çalışan katılımını benimseyen organizasyonlarda çalıştığı belirtilirken; Amerikan danışmanlık şirketi Gallup (2024)'un araştırma sonuçlarına göre 2024 yılında bu oran tüm dünyada %21'e düşmüştür. Türkiye'deki işletmelerde çalışan katılımı uygulamasının benimsenme düzeyi bu çalışma açısından merak uyandırırken, işletme yönetimi açısından önemli bir geri bildirim niteliği taşımaktadır.

Çalışan katılımının yanında hücresel imalat ve Kanban uygulamaları israfların azaltılmasında etkili ve önemli yalın uygulamalardır. Devnath vd. (2020), Rawabdeh (2005)'in çalışmalarında da bu uygulamalar önceliklenmektedir. Nitekim Kanban ve hücresel imalat uygulamalarının

üretim sürecinde pek çok israf türünü ortadan kaldırdığı literatür tarafından kabul edilmektedir (Popa ve Gupta, 2024). İsraflardan arındırılmış bir üretim sürecinin sağlanması hedefi taşıyan bu çalışma sonuçlarının, aynı hedefi güden tüm işletmeler açısından bir rehber olabileceği düşünülmekte; yalın olma yolunda ışık tutması umulmaktadır.

Yalın felsefenin işletmelerde benimsenmesinin ve sonuçlarının elde edilmesinin zaman alıcı ve çaba gerektiren bir süreç olduğu düşünüldüğünde bu çalışmanın işletme yöneticileri için bir farkındalık ve motivasyon sağlayabileceği; adımların atılmasında rehber olabileceği düşünülmektedir. Nitekim yalın felsefenin temelinde işletme yönetiminin misyonun ve liderliğinin önemi yadsınamaz bir gerçektir. Kaldı ki bu çalışmada sunulan ve ilgili alana katkı sağlayacağı umulan bulanık-QFD-DANP hibrit modelinin; üretim sürecindeki temel israf türlerinin ve bunlara yönelik uygulamaların belirlenmesinde etkili bir yol sağladığı söylenebilir. Yöneticilerin israflar arasındaki karşılıklı ilişkileri sistematik bir şekilde tanımalarına ve israfları azaltmak için önerilen uygulamaların kendileri için ne ölçüde uygun olduğunu belirlemelerinde yardımcı olabilir. Bu çalışma yalın üretim danışmanlarının görüşleri ile sınırlandırılmıştır. Gelecekteki çalışmalar, akademisyen ve sanayiden katılımcıların dahil olacağı daha geniş bir örneklem çerçevesinde gerçekleştirilebilir. Ayrıca belirli bir işletme ve spesifik bir üretim ortamı için gerek çalışan ve yönetici görüşleri gerekse ölçüm ile elde edilen verilerle yürütülebilecek çalışma sonuçlarının da faydalı olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Araştırmaya katılmayı kabul ederek yalın israf ve yalın uygulamalar hakkında değerli görüşlerini paylaşan M. Biricik ve diğer yalın üretim danışmanlarına teşekkür ederim.

Kaynakça

Anggraini, W., Harpito, Siska, M. ., & Novitri, D. (2022). Implementation of lean construction to eliminate waste: a case study construction project in Indonesia. *Jurnal Teknik Industri*, 23(1), 1–16. doi: 10.22219/JTIUMM.Vol23.No1.1-16

Ayçin, E. (2019). *Çok kriterli karar verme-bilgisayar uygulamalı çözümler.* Ankara: Nobel Yayınevi.

Başkaya, Z. ve Öztürk, B. A. (2011). Bulanık analitik hiyerarşi süreci ile bir alışveriş merkezinde mağaza kuruluş yerinin seçimi. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları* Dergisi, 9(15),110-133.

Belekoukias, I., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V. (2014). The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. *International Journal of Production Research*, 52(18), 5346-5366.

Bergmiller, G. G., & McCright, P. R. (2009, May). Parallel models for lean and green operations. *Proceedings of the 2009 Industrial Engineering Research Conference* içinde (Vol. 1, No. 1, s. 22-26). Tampa, FL, USA: University of South Florida and Zero Waste Operations Research and Consulting.

Bhasin, S. & Burcher, P. (2006). Lean viewed as a philosophy. *Journal of Manufacturing Technology Management, 17(*1), 56-72.

Bhuvanesh Kumar, M., & Parameshwaran, R. (2018). Fuzzy integrated QFD, FMEA framework for the selection of lean tools in a manufacturing organisation. *Production Planning & Control, 29*(5), 403–417. doi: 10.1080/09537287.2018.1434253.

Brito, M., Ramos, A.L., Carneiro, P & Gonçalves, M.A. (2019). The eighth waste: non-utilized talent. Lean Manufacturing: Implementation (Ed: F.J.G. Silva, L.C.P. Ferreira), *Opportunities and Challenges*, içinde (s. 151-163) New York: Nova Science Publishing.

Büyüközkan, G. & Çifçi, G. (2011). A novel fuzzy multi-criteria decision framework for sustainable supplier selection with incomplete information. *Computers in Industry, 62*(2), 164-174.

Caldera, S., Desha, C., & Dawes, L. (2019). Evaluating the enablers and barriers for successful implementation of sustainable business practice in 'lean' SMEs. *Journal of Cleaner Production, 218*, 575-590.

Chen, C. (2015). Construct a multi criteria decision making tool: DEMATEL and MMDE methods. *International Journal of Decision Support System Technology (IJDSST), 7*(4), 36-50. doi: 10.4018/IJDSST.2015100103

Choudhary, S., Nayak, R., Dora, M., Mishra, N., & Ghadge, A. (2019). An integrated lean and green approach for improving sustainability performance: a case study of a packaging manufacturing SME in the U.K. *Production Planning & Control, 30*(5–6), 353–368.

Çetindere Filiz A., Duran C., & Behdioğlu S. (2018). Just in Time (JIT) Production System. Özer Özçelik (Ed.), *Studies on Interdisciplinary Economics and Business -Volume I* içinde (s.85-99). Berlin: Peter Lang GmbH Internationaler Verlag der Wissenschaften.

Dara, H.M., Raut, A., Adamu, M., Ibrahim, Y.E. & Ingle, P.V. (2024). Reducing non-value added (NVA) activities through lean tools for the precast industry, *Heliyon, 10*, 7.

Devnath, A., Islam, M. S., Rashid, S., & Islam, E. (2020). An integrated QFD-TOPSIS method for prioritization of major lean tools: a case study. *International Journal of Research in Industrial Engineering, 9*(1), 65-76.

Dubey, H., Paharia A.K. & Joshi, C. (2017). Application of quality function deployment and lean to minimize industrial wastes. *International Journal of Research in Management, 7*(1), 15-35.

Duque, F.M.D. & Cadavid, L.R. (2007). Lean manufacturing measurement: the relationship between lean activities and lean metrics. *Estudios gerenciales, 23*(105), 69-83.

Elmalky, A., Mohamed, S. A., & Eldash, K. (2024). Impact of adopting lean principles on construction waste in developing countries. *Engineering Research Journal (Shoubra), 53*(2), 82-93.

Eroğlu, Ö. ve Gencer, C. (2021). Lojistik destek üssü yer seçiminde kriter ağırlıklarının bulanık DEMATEL yöntemi ile değerlendirilmesi. Kabak ve Erdebilli (Ed). *Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri* (s. 65-87), Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Eurofound (2015). Working conditions and sustainable work - How does employee involvement in decision-making benefit organisations?. https://www.eurofound.europa.eu/en/publications/2020/how-does-employee-involvement-decision-making-benefit-organisations Erişim Tarihi: 18.04.2025

Farooq, M. U., Thaheem, M. J., & Arshad, H. (2018). Improving the risk quantification under behavioural tendencies: A tale of construction projects. *International Journal of Project Management, 36*(3), 414-428.

Gallup (2024). *State of Globak Workplace*. https://www.gallup.com/workplace /349484/state-of-the-global-workplace.aspx Erişim Tarihi: 15.03.2025

Gładysz, B., Buczacki, A., & Haskins, C. (2020). Lean management approach to reduce waste in Horeca food services. *Resources, 9*(12), 144.

Hatefi, S. M. & Tamošaitienė, J. (2019). An integrated fuzzy DEMATEL-fuzzy ANP model for evaluating construction projects by considering interrelationships among risk factors. *Journal of Civil Engineering and Management, 25*(2), 114-131.

Herat, A.T., Noorossana, R., Parsa, S., & Serkani, E.S. (2012). Using DEMATEL-Analytic network process (ANP) hybrid algorithm approach for selecting improvement projects of Iranian excellence model in healthcare sector. *African Journal of Business Management, 6*, 627-645.

Hilmola, O. (2020). Role of inventory and assets in shareholder value creation. *Expert Systems with Applications, 5*, 100027.

Hsu, C. H., Yu, R. Y., Chang, A. Y., Liu, W. L., & Sun, A. C. (2022). Applying integrated QFD-MCDM approach to strengthen supply chain agility for mitigating sustainable risks. *Mathematics, 10*(4), 552.

Jiang, P., Hu, Y. C., Yen, G. F., & Tsao, S. J. (2018). Green supplier selection for sustainable development of the automotive industry using grey decision-making. *Sustainable Development, 26*(6), 890-903.

Kabak, M. ve Erdebilli, B. (2021). *Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri - MS Excel ve software çözümlü uygulamalar* (1. baskı), Ankara: Nobel Yayınevi.

Kecek, G. ve Akinci, Ö.C. (2016). Quality function deployment and an application in an insurance company. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 6*(4), 111-135.

Kim, S. Y., Nguyen, M. V., & Dao, T. T. (2021). Prioritizing complexity using fuzzy DANP: Case study of international development projects. *Engineering, Construction and Architectural Management, 28*(4), 1114-1133.

Knapić, V., Rusjan, B. &Božič, K. (2023), Importance of first-line employees in lean implementation in SMEs: a systematic literature review. *International Journal of Lean Six Sigma, 14*(2), 277-308.

Knol, W. H., Lauche, K., Schouteten, R. L., & Slomp, J. (2022). Establishing the interplay between lean operating and continuous improvement routines: a process view. *International Journal of Operations & Production Management, 42*(13), 243-273.

Koca, G., Eğilmez, Ö., & Güler, S., (2021). Kayıt dışı istihdama neden olan faktörlerin DEMATEL tabanlı Analitik Ağ Süreci yöntemi ile değerlendirilmesi. *Sosyoekonomi, 29*(48), 249-270.

Lee, A. H., & Lin, C. Y. (2011). An integrated fuzzy QFD framework for new product development. *Flexible Services and Manufacturing Journal, 23*, 26-47.

Lee, Y. C., Zeng, P. S., Huang, C. H., & Wu, H. H. (2018). Causal relationship analysis of the patient safety culture based on safety attitudes questionnaire in Taiwan. *Journal Of Healthcare Engineering, 2018*(1), 4268781.

Leksic, I., Stefanic, N., & Veza, I. (2020). The impact of using different lean manufacturing tools on waste reduction. *Advances in Production Engineering & Management*, 15(1), 81-92.

Marin-Garcia, J. A., & Bonavia, T. (2014). Relationship between employee involvement and lean manufacturing and its effect on performance in a rigid continuous process industry. *International Journal of Production Research, 53*(11), 3260–3275.

Maxwell, J., Briscoe, F., Schenk, B., & Rothenberg, S. (1998). Case study: Honda of America Manufacturing, Inc.: Can lean production practices increase environmental performance? *Environmental Quality Management, 8*(1), 53-61.

Minh, N. D., Nguyen, N. D., & Cuong, P. K. (2019). Applying lean tools and principles to reduce cost of waste management: An empirical research in Vietnam. *Management and Production Engineering Review, 10*(1), 37-49.

Novirani, D., Zulkarnain, F. P., & Darrent, T. (2024). *Application of lean manufacturing to minimize waste in the production process of tin stabilizer*. In E3S Web of Conferences (Vol. 484, s. 01002). EDP Sciences.

Opricovic, S. & Tzeng, G.H. (2003). Defuzzification within a multicriteria decision model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 11*(05), 635-652.

Pavnaskar, S. J., Gershenson, J. K., & Jambekar, A. B. (2003). Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research, 41*(13), 3075-3090.

Popa, A.M. & Gupta, K. (2024). Using lean manufacturing to ımprove process efficiency in a fabrication company. *Applied Engineering Letters*, 9(3), 2024: 172-184.

Rahmanasari, D., Sutopo, W., & Rohani, J. M. (2021, March). *Implementation of lean manufacturing process to reduce waste: a case study*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1096, No. 1, s. 012006). IOP Publishing.

Ramesh, N., & Ravi, A. (2017). Determinants of total employee involvement: a case study of a cutting tool company. *International Journal of Business Excellence, 11*(2), 221-240.

Rawabdeh, I.A. (2011). Waste elimination using quality function deployment. International *Journal of Services And Operations Management, 10*(2), 216-238.

Rawabdeh, I.A. (2005). A model for the assessment of waste in job shop environments, *International Journal of Operations & Production Management, 25*(8), 800-822.

Reda, H., & Dvivedi, A. (2022). Decision-making on the selection of lean tools using fuzzy QFD and FMEA approach in the manufacturing industry. *Expert Systems with Applications, 192*, 116416.

Rewers P., Trojanowska J. & Chabowski P. (2016-June*). Tools and methods of lean manufacturing-a literature review*. Proceedings of 7th International Technical Conference Technologıcal Forum, Czech Republic.

Shams Bidhendi, S., Goh, S., & Wandel, A. (2018). A multi-objective methodology for selecting lean initiatives in modular construction companies. *World Academy of Science, Engineering and Technology (Industrial and Manufacturing Engineering),12*(9),1254.

Srdjevic, B., & Lakicevic, M. (2022). Causality and importance of sustainable forestry goals: Strategic and tactical assessment by DEMATEL and AHP. *Forests, 14*(1), 77.

Thürer, M., Tomašević, I., & Stevenson, M. (2017). On the meaning of 'Waste': review and definition. *Production Planning & Control, 28*(3), 244–255.

Tunca, M. Z., & Bayhan, M. (2012). Kalite fonksiyon göçerimi yönteminin tedarikçi seçiminde kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 11*, 53-69.

Verrier, B., Rose, B., & Caillaud, E. (2016). Lean and green strategy: the lean and green house and maturity deployment model. *Journal of Cleaner Production, 116*, 150-156.

Veseli, A., Bajraktari, A., & Trajkovska Petkoska, A. (2024). The implementation of lean manufacturing on zero waste technologies in the food processing industry: insights from food processing companies in Kosovo and North Macedonia. *Sustainability, 16*(14), 6016.

Vinodh, S., & Kumar Chintha, S. (2011). Application of fuzzy QFD for enabling leanness in a manufacturing organisation. *International Journal of Production Research*, *49*(6), 1627-1644.

Wolniak, R. (2018). The use of QFD method advantages and limitation. *Production Engineering Archives, 18*, 14–17.

Womack, J.P. & Jones, D.T. (2003) *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. New York: Simon and Schuster.

Yang, Y. P. O., Shieh, H. M., Leu, J. D., & Tzeng, G. H. (2008). A novel hybrid MCDM model combined with DEMATEL and ANP with applications. *International Journal of Operations Researc*h, *5*(3), 160-168.

Yazdani, M., Wang, Z. X., & Chan, F. T. (2020). A decision support model based on the combined structure of DEMATEL, QFD and fuzzy values. *Soft Computing*, *24*(16), 12449-12468.

Zhu, J., Wang, H., & Xu, J. (2021). Fuzzy DEMATEL-QFD for designing supply chain of shipbuilding materials based on flexible strategies. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(10), 1106. doi: 10.3390/jmse9101106.